

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：14302

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H00864

研究課題名（和文）脳活動と視線移動計測のエビデンスデータに基づく空間図形教材コンテンツの開発と普及

研究課題名（英文）Development and dissemination of spatial geometry teaching material content based on evidence data of brain activity and eye movement measurement

研究代表者

黒田 恭史（Kuroda, Yasufumi）

京都教育大学・教育学部・教授

研究者番号：70309079

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、次の三点である。一つ目は、コンピュータを用いた空間図形教材を開発し、脳活動と視線移動の同時計測による生体情報計測実験により、その効果を解明することである。二つ目は、空間認識力の向上に有効なコンピュータを用いた小・中学生用空間図形教材を完成することである。そして三つ目は、これらの教材を普及することである。

一つ目は、最初に大学生32名を対象にメンタルローテーションに関する脳活動と視線移動の同時計測実験を、次に大学生・大学院生58名と小学6年生23名を対象に、空間図形に関する実験を実施し、分析を行った。二つ目は、空間図形教材を合計36本制作した。三つ目は、専用ホームページで公開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳活動と視線移動の同時計測は、装着に伴う被験者への負荷や、実験データの正確な取得などの点において、現時点で大きなハードルのある実験である。そうした中、本科研では、大学生・大学院生と小学6年生、合計数十名に実験が実施できた点は、日本はもとより世界的にも希少な成果であるといえ、その分析結果は、生理学視点からの教育研究に大きく貢献するものであると考えている。

あわせて、これらの知見を踏まえた、数十本の空間図形教材の開発と専用ホームページでの公開は、我が国の子どもの算数・数学の図形学習における有益なサポート教材となることが期待される。今後は、空間教材のさらなる開発に取り組んでいく予定である。

研究成果の概要（英文）：This research has three objectives. The first is to develop computer-based teaching materials for solid shapes and to elucidate their effectiveness through bioinformation measurement experiments that simultaneously measure brain activity and eye movement. The second is to complete computer-based teaching materials for solid shapes for elementary and junior high school students that are effective in improving spatial awareness. And the third is to popularize these teaching materials.

First, we first conducted an experiment to simultaneously measure brain activity and eye movement related to mental rotation with 32 university students, and then conducted and analyzed experiments related to solid shapes with 58 university and graduate students and 23 sixth graders. Second, we produced a total of 36 solid shape teaching materials. Third, we made them available on a dedicated website.

研究分野：数学教育学

キーワード：脳活動計測 視線移動計測 図形教材の制作

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2020年のコロナ禍による学校休校に伴い、全国の学校現場では、未習の内容を学校ではなく自宅で学習するという、これまでに経験したことのない状況が生じた。津田ほか¹⁾(2020)は、約2か月間の学校一斉休校時に実施した教科書とプリント等での自宅学習に対して、その定着度を検証しているが、算数科においては数と計算領域は定着していたものの、空間認識力や作図能力など、図形領域の定着がかなり低いという報告を行っている。

今後も、断続的にこうした自宅学習の状況が日本各地で生じることが予想されるとともに、GIGA スクール構想の前倒しにより、多くの自治体で2020年度内に小・中学生に対して一人一台のコンピュータの配布が予定されていることから、オンラインによる自宅での学習が可能なインフラの整備と教材の開発が希求されている。

ところで、空間認識力とは、三次元空間内の物体の位置や形状・方向・大きさなどの状態や位置関係を正確に把握することである。これは、算数・数学科の空間図形の問題を解決する上で重要な能力であるが、その教育が容易ではないことは研究代表者の黒田²⁾(2010)によって指摘されてきた。とりわけ、立体図形の奥行きを理解、複数の図形の位置関係の理解、図形の回転移動や対称移動における正確な理解などに困難性が見られた。なお、ここで言う空間図形とは、立体図形、空間内の辺と面の関係、平面図形など、小・中学校で扱う図形内容全般を指す。

学校での対面式の授業においては、実物の立体図形や紙面にかかれた立体図形などを組み合わせたり、平面図形を切り取って位置関係を考えるなどの学習が行われているが、自宅での学習となると制約も大きくなることから、パソコンやタブレットなどのコンピュータ画面上で効果的に学習することのできる教材の開発が不可欠である。

一方、「紙面などにかかれた立体図形が正しく立体図形に見えない」といった小・中学生に対して、それを指導者の説明などによって理解させることは容易ではない。また、平面図形を、学習者が念頭で回転させたり対称移動させたりすることを指導することも容易ではない。この点は、筆算の計算手順の学習などと大きく異なっており、空間図形の学習内容特有の問題点と言える。すなわち、試験調査、インタビュー、行動観察といった従来の分析方法だけでは、小・中学生の理解困難な点の要因解明や打開策の考案が容易ではなく、新たな分析手法の導入が不可欠であるということの意味する。

今日では、小・中学生の脳活動や視線移動を容易かつ安全に計測する装置が開発されており、学習者が言語化できない思考特性や、無意識の行動特性を検出することが可能になりつつある。こうした生理学データと、従来の分析方法とを組み合わせることで、小・中学生の新たな思考特性や行動特性の解明につながると考える。

- 1) 津田真秀、伊藤友輔、高橋正人、保科一生、上田美智穂、藤澤薫里、黒田恭史(2020)「休校期間中における算数科の習熟度に関する研究 ―これからの対面・家庭学習の構築を目指して―」数学教育学会秋季例会予稿集、pp.56-58
- 2) 黒田恭史編著(2010)『初等算数科教育法 ―新たな算数科の授業をつくる―』ミネルヴァ書房、pp.92-109

2. 研究の目的

本研究の目的は、次の三点である。

一つ目は、コンピュータを用いた空間図形教材を開発し、脳活動と視線移動の同時計測による生体情報計測実験により、その効果を生理学的に解明することである。

二つ目は、生理学データの研究成果を踏まえ、空間認識力の向上に有効なコンピュータを用いた小・中学生用空間図形教材を完成することである。

そして三つ目は、ホームページ等を用いてのこれらの教材を普及することである。

3. 研究の方法

本研究の方法は、次の通りである。

一つ目の、コンピュータを用いた空間図形教材について、GeoGebra等のソフトウェアを用いて開発する。続いて、大学生と小・中学生を対象に、脳活動と視線移動の同時計測による生体情報計測実験により、その教材等の効果を生理学的に解明する。

二つ目の、生理学データの研究成果を踏まえた小・中学生用空間図形教材については、空間認識力の向上に有効となる、とりわけタブレット上で様々な立体を多方面から観察可能な教材や、立体と展開図の相互関係を理解させる教材を開発する。

そして三つ目の、教材の普及については、専用ホームページを開設し、小・中学生用空間図形教材の閲覧が可能になるだけでなく、どのように使用すると効果があるのかといった、仕様書を掲載し、全国での活用につなげる。

4. 研究成果

4.1. 2021年度の研究成果

コンピュータを用いた空間図形教材の開発においては、GeoGebraソフトを用いて21本の教材を開発した。また下記のURLの専用ホームページを先行して立ち上げた。ただし、教材の公開については生体情報計測実験後の成果を踏まえたものを掲載するため、2022年度の公開とした。

小中学校の図形学習動画コンテンツ <https://www.shape-kuroda.jp/>

生体情報計測実験では、大学生・大学院生32名を対象に、メンタルローテーションに関する2つの立体図形の合同の可否を問う実験課題を実施し、その特徴について分析した。これらは、立体図形の認識に関する脳活動と視線移動のデータを取得し、今後の、分析の基礎資料として用いるためである。視線移動計測実験の結果より、立体図形の回転方向の違いによって難度が変化し、回答方略が異なることが導き出された。早い段階で2つの立体の同一個所を特定化できた際には正答率が高く、特定の立体に視線が留まる傾向の場合には、正答率が低い結果となった。また脳活動を組み合わせて分析すると、3つのタイプに分類されることが判明した。

この時期、コロナ禍により、2021年度の前半の期間は実験を実施することができなかったが、後半には大学生・大学院生を対象とした生体情報計測実験が可能となり、データ取得・分析ができた。

4.2. 2022年度の研究成果

コンピュータを用いた空間図形教材の開発においては、22本（小学生用1本と中学生用21本）を完成させた。これらは専用のホームページにおいてアップロードしており、だれもが無償で使用できる環境を構築した。

生体情報計測実験では、小学6年生を対象に、空間図形課題とICT学習時の脳活動と視線を同時に計測した。

この実験の目的は、(1)1回目に計測した空間図形課題時の脳活動と視線のデータをもとに、2回目の空間図形課題の成績を予測できるか、(2)ICT学習の効果を脳活動や視線のデータからも評価することができるかを探索的に検討することである。

京都教育大学附属桃山小学校 6 年生 9 名を対象に実験を実施した。実験は 1 名に対して、2 日間に分けて行われ、1 日目は展開図課題 30 問、2 日目は 5 分間の ICT 学習と、展開図課題 30 問を実施した。実験参加者は、前頭前野の脳活動と、視線移動の計測装置を装着し、実験課題および ICT 学習を行った。実験後は、課題の解き方や ICT 学習に関するインタビュー調査を行った。実験刺激は、PsychoPy を用いて提示した。反応時間及び正答率は PsychoPy に自動で保存される。これらのデータは Excel 及び R-4.1.3 を用いて統計解析した。脳活動データは、Spectratech-OEG16 及び OEG-16 を用いて計測した。計測されたデータは MATLAB 2017b 及び Homer3 を用いて GLM 解析を行った。算出された β 値に関して、R-4.1.3 を用いて統計解析した。視線データは、Tobii Pro Nano 及び Tobii Pro Lab を用いて計測した。計測されたデータは Tobii Pro Lab で AOI の設定を行い、Excel 及び R-4.1.3 を用いて統計解析した。

コロナ禍が長期化したために、子どもを対象とした生体情報計測実験の実施が非常に困難な状況であったが、長時間の密を避けるために実験を 2 日間に分けるなどの工夫を行い、京都教育大学附属桃山小学校の協力のもと、脳活動と視線移動の同時計測実験を実施することができた。

4.3. 2023 年度の研究成果

コンピュータを用いた空間図形教材の開発においては、新たに小学生用 12 本の完成版を得た。これらは専用のホームページにおいてアップロードしており、だれもが無償で使用できる環境を構築した。

生体情報計測実験では、大学生・大学院生 58 名（実際には 72 名に実施し、うち 14 名はデータ不備のため分析から除外）を対象に、空間図形課題と ICT 学習時の脳活動と視線移動を同時に計測した。また、京都教育大学附属桃山小学校の 6 年生 14 名（実際には 15 名に実施し、うち 1 名はデータ不備のため分析から除外）を対象に同様の実験を実施した。分析に際しては、2022 年度と同様の方法を用いた。

その結果、空間図形教材を使った学習後、大学生は左右の前頭前野の脳活動が沈静化し、視線移動の特徴は変化しなかったのに対し、小学生は左の前頭前野が活性化し、視線移動の特徴が変化したことが明らかになった。この結果より、学習を通じて、大学生は空間図形課題の解き方をパターン化したこと、小学生は効率的な問題の解き方を発見し、問題の解き方を変えたことが考察された。

4.4. 2021 年度～2023 年度の研究成果のまとめ

3 年間の研究成果をまとめると以下の通りとなる。

大学生 32 名を対象に、メンタルローテーションに関する脳活動と視線移動の同時計測実験を実施し、視線移動計測実験の結果より、立体図形の回転方向の違いによって難度が変化し、回答方略が異なること、また、脳活動を組み合わせて分析すると、3 つのタイプに分類されることが判明した。

大学生・大学院生 58 名と小学 6 年生 23 名を対象に、空間図形に関する脳活動と視線移動の同時計測実験を実施し、大学生は空間図形教材を使った学習後、大学生は左右の前頭前野の脳活動が沈静化し、視線移動の特徴は変化しなかったのに対し、小学生は左の前頭前野が活性化し、視線移動の特徴が変化したことが明らかになった。学習を通じて、大学生は空間図形課題の解き方をパターン化したこと、小学生は効率的な問題の解き方を発見し、問題の解き方を変えたことが考察された。

上記の生理学研究成果を踏まえ、タブレット上で様々な立体を多方面から観察可能な教材や、立体と展開図の相互関係を理解させることのできる空間図形教材を合計 36 本（小学校 13 本、中学校 23 本）制作した。

三つ目は、専用ホームページで空間図形教材と、その仕様書を公開した。

脳活動と視線移動の同時計測において、大学生・大学院生計 90 名と小学 6 年生計 23 名に実験が実施できた点は、日本はもとより世界的にも希少な成果であるといえ、その分析結果は、生理学視点からの教育研究に大きく貢献するものであると考えており、これらの知見を踏まえた、数十本の空間図形教材の開発と専用ホームページでの公開は、我が国の子どもたちの算数・数学の図形学習における有益なサポート教材となることが期待される。コロナ禍をはじめ様々な制約により、中学生には実験ができなかったが、今後は対象を広げて実験を実施していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 青木駿介, 岡本尚子, 黒田恭史	4. 巻 Vol. 62 No. 1・2
2. 論文標題 立方体の切断課題遂行時における学習者の視線移動の特徴 - 視線移動計測実験の分析を通して -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 数学教育学会誌	6. 最初と最後の頁 121-129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 近藤竜生, 岡本尚子, 黒田恭史, 田邊宏樹
2. 発表標題 メンタルローテーション課題における 視線移動と脳活動の探索的検討
3. 学会等名 教育システム情報学会2022年度 第1回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤竜生, 岡本尚子, 田邊宏樹, 黒田恭史
2. 発表標題 メンタルローテーション課題の正誤による視線移動と脳活動の特徴の考察
3. 学会等名 第47回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤竜生, 岡本尚子, 黒田恭史, 田邊宏樹
2. 発表標題 心的回転課題の正誤によって生じる生理心理指標の考察
3. 学会等名 日本心理学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tatsuki Kondo, Naoko Okamoto, Yasufumi kuroda
2. 発表標題 CONSIDERATION OF CHARACTERISTICS OF EYE MOVEMENT AND BRAIN ACTIVITY DURING MENTAL ROTATION TASKS
3. 学会等名 The 14th International Congress on Mathematical Education(Shanghai and Online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田恭史, 近藤竜生, 岡本尚子
2. 発表標題 複合的生理学データを活用した学習者の思考過程解明の可能性について
3. 学会等名 第45回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤竜生, 岡本尚子, 黒田恭史
2. 発表標題 メンタルローテーション課題時の視線移動の特徴の考察
3. 学会等名 第45回教育システム情報学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤竜生, 黒田恭史
2. 発表標題 GeoGebraのスク립トを用いた図形の回転体の教材開発
3. 学会等名 数学教育学会秋季例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤竜生, 津田真秀, 黒田恭史
2. 発表標題 小学六年生を対象とした図形の回転体の教育実践 GeoGebra のスクリプト機能を用いて
3. 学会等名 第26回数学教育学会大学院生等発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

小中学校の図形学習動画コンテンツ https://www.shape-kuroda.jp/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	石井 英真 (Ishii Terumasa) (10452327)	京都大学・教育学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	森 秀樹 (Mori Hideki) (30527776)	昭和女子大学・人間社会学部・准教授 (32623)	
研究分担者	岡本 尚子 (Okamoto Naoko) (30706586)	立命館大学・産業社会学部・准教授 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------